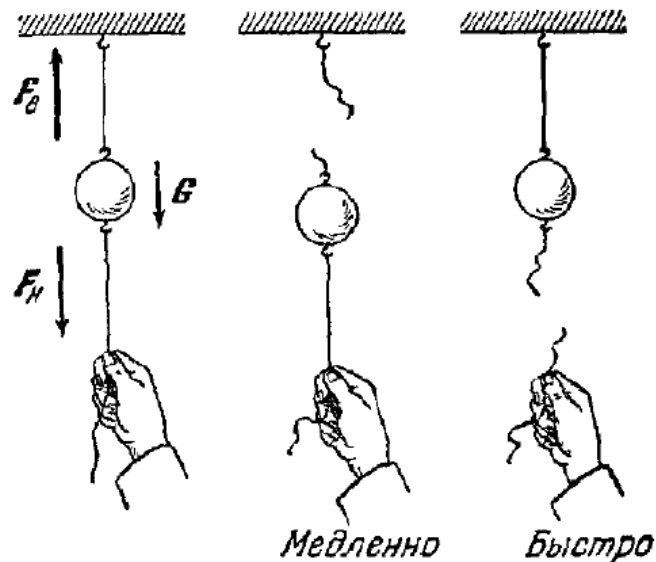


Решение

Задание 9-1. «Разминка»



1. «Посмотри и объясни» На Рис. 1 изображен известный физический опыт. Проанализируйте Рис. 1, кратко опишите суть опыта и «принцип его действия». Справедливость какого физического закона он демонстрирует? Сформулируйте данный закон.

Рис. 1

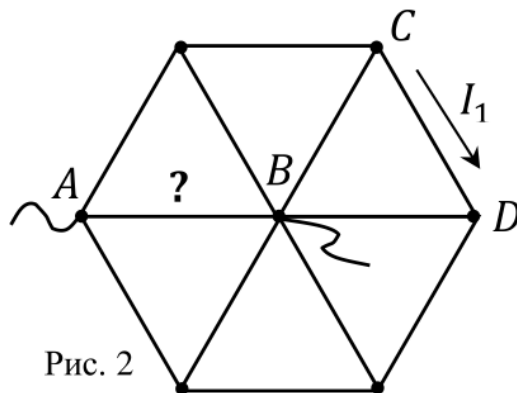
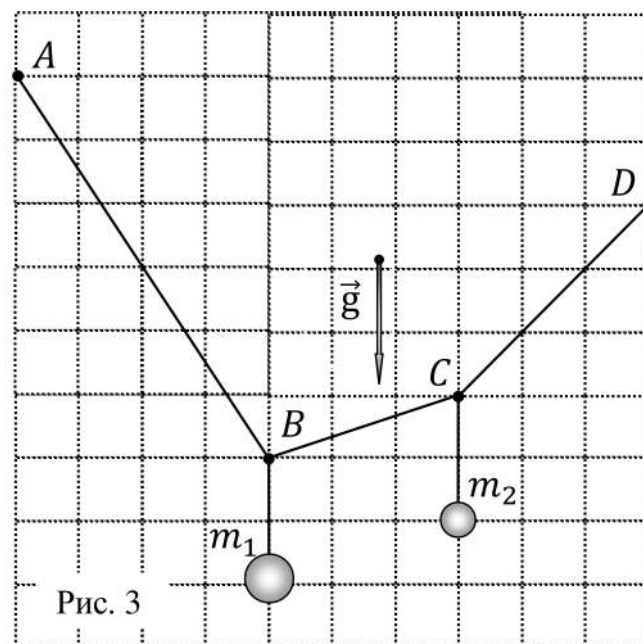


Рис. 2

2. «Тока сила тока» Определите направление и значение I_2 силы тока через ветвь AB проводочной цепи, изображенной на Рис. 2, если направление и сила тока I_1 через ветвь CD схемы известны. Сопротивление каждой ветви цепи равно r (независимо от её длины).

Рис. 2



3. «Кривоватое равновесие» Концы легкой веревки $ABCD$ закреплены в точках A и D (Рис. 3). К веревке в точках B и C привязаны грузы массами m_1 и m_2 , соответственно (см. Рис. 3). В положении равновесия грузы заняли положения, изображённые на Рис. 3. Используя квадратную масштабную сетку на Рис. 3, найдите отношение $\eta = m_1/m_2$ масс грузов. Известно, что масштабная сетка на Рис. 3 квадратная, размер ячейки ($a \times a$).

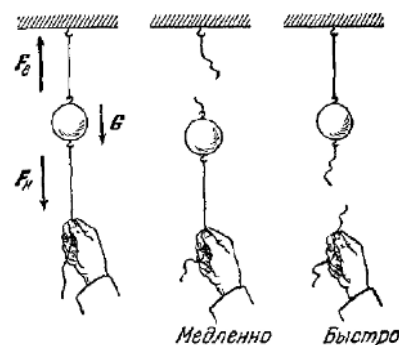
Рис. 3

Возможные решения:

Задание 9-1. «Разминка»

1. «Посмотри и объясни» На Рис. 1 изображен известный опыт, демонстрирующий явление *инерции*. Суть опыта: при *медленном* увеличении рукой силы натяжения нижней нити разрывается *верхняя* нить, поскольку её сила натяжения больше силы натяжения нижней нити на силу тяжести $\vec{G}$ подвешенного груза.

При *быстром* рывке нити, наоборот, разрывается *нижняя* нить, поскольку тяжелый груз из-за инертности «не успевает» сдвинуться с места за время рывка (деформируется только нижняя нить).

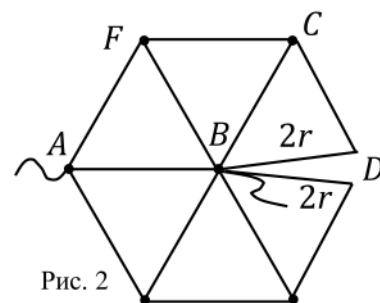


Таким образом, данный опыт демонстрирует справедливость *закона инерции* или *первого закона Ньютона*.

В учебнике «Физика-9» читаем (стр. 69) первый закон Ньютона или закон инерции: «*всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока на него не подействуют силы*».

Заметим, что в современной редакции формулировка первого закона Ньютона (закона инерции) «несколько шире» формулировки самого Исаака Ньютона в его знаменитой книге «*Математические начала натуральной философии*» (1687 г.).

Так в учебнике «Физика-9» читаем (стр. 70) «*Существуют системы отсчета, относительно которых любое тело движется равномерно прямолинейно, если на него не действуют силы или действие сил скомпенсировано*».



2. «Тока сила тока» Ветвь BD цепи можно представить как два параллельно соединенных резистора сопротивлением $2r$ каждый и после этого «разорвать» симметричные ветви в точке D (Рис. 2).

Поскольку по маленькой перемычке ток не будет идти (точки равного потенциала), то общее сопротивление цепи при этом не изменится.

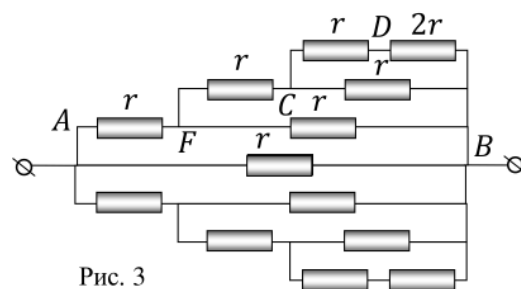
Тогда цепь эквивалентная исходной примет вид, изображенный на Рис. 3.

Поэтапно находим сопротивление участков цепи по правилам последовательного и параллельного соединений.

Получим

$$R_{CB} = \frac{3r \cdot r}{3r + r} = \frac{3r}{4}, \quad (1)$$

$$R_{FB} = \frac{\frac{7}{4} \cdot r}{\frac{7r}{4} + r} = \frac{7r}{11}. \quad (2)$$



Сопротивление R_{AB} верхней части схемы на Рис. 3 найдем как

$$R_{AB} = \frac{7r}{11} + R = \frac{18r}{11}. \quad (3)$$

Далее для всей цепи можем записать

$$\frac{1}{R} = \frac{11}{18r} + \frac{1}{r} + \frac{11}{18r} \implies R = \frac{9}{20}r. \quad (4)$$

Таким образом, согласно закону Ома, сила полного ток I в цепи будет равна

$$I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{20}{9} \frac{U_{AB}}{r}. \quad (5)$$

Соответственно, искомое значение силы тока через ветвь AB цепи

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{r} . \quad (6)$$

Рассматривая цепь в «обратном порядке» из (1)-(4) найдем, что сила тока через «верхнюю» (и «нижнюю») ветвь цепи равна

$$I_{AF} = \frac{11}{18} \frac{U_{AB}}{r} . \quad (7)$$

Далее ток вновь делится так, что его сила

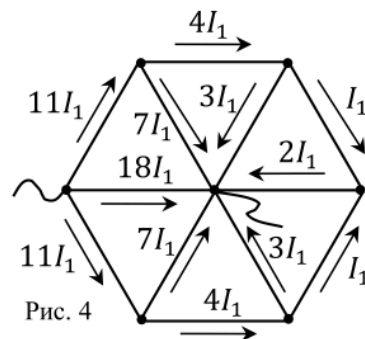
$$I_{FC} = \frac{4}{18} \frac{U_{AB}}{r} . \quad (8)$$

После последнего деления тока получим

$$I_1 = \frac{1}{18} \frac{U_{AB}}{r} . \quad (9)$$

Сравнивая (9) и (6), находим окончательный ответ

$$I_2 = 18I_1 . \quad (10)$$



Таким образом, ток через ветвь AB направлен слева направо (от A к B) и равен

$$I_2 = 18I_1 .$$

Результирующее распределение токов по всей цепи изображено на Рис. 4.

Заметим, что сопротивление r каждого звена цепи не вошло в окончательный ответ, однако потребовалось нам при промежуточных расчетах задачи.

3. «Кривоватое равновесие» Изобразим силы, действующие в системе, и обозначим углы так, как на Рис. 5.

Поскольку грузы находятся в равновесии ($\vec{a} = \vec{0}$), то векторная сумма сил, действующих на каждый из них, должна быть равна нулю.

Запишем это условие для точки B веревки, где подвешен груз m_1 , по вертикали (см. Рис. 5)

$$T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \beta = m_1 g , \quad (1)$$

и по горизонтали

$$T_1 \sin \alpha = T_2 \sin \beta . \quad (2)$$

Аналогично запишем подобные уравнения для точки точки C веревки, где подвешен груз m_2 , по вертикали (см. Рис. 4)

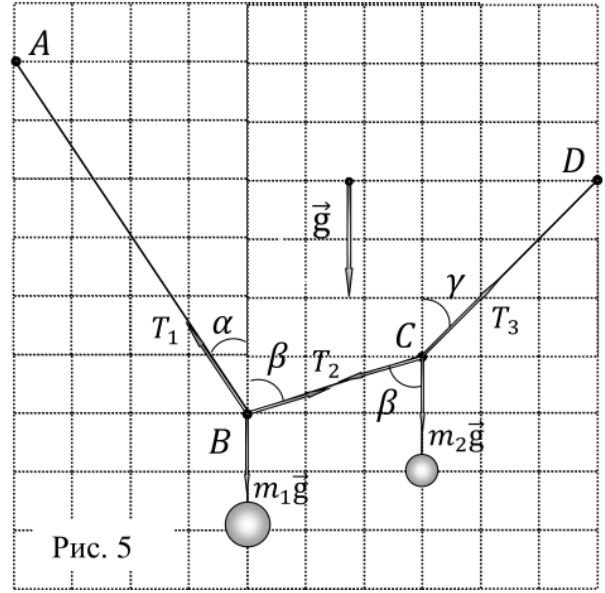


Рис. 5

$$T_3 \cos \gamma = m_2 g + T_2 \cos \beta , \quad (3)$$

и по горизонтали

$$T_3 \sin \gamma = T_2 \sin \beta . \quad (4)$$

Выражая из (2) и (4) соответственно, T_2 и T_3 , получим

$$T_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} T_1 , \quad (5)$$

$$T_3 = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} T_2 . \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в (1) и (3), придем к равенствам

$$m_1 g = T_1 \cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} T_1 \cos \beta , \quad (7)$$

$$m_2 g = \frac{\sin \beta \sin \alpha}{\sin \gamma \sin \beta} T_1 \cos \gamma - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} T_1 \cos \beta . \quad (8)$$

Из (7) и (8) получаем выражение для искомого отношения $\eta = \frac{m_1}{m_2}$ масс грузов

$$\eta = \frac{m_1}{m_2} = \frac{T_1 \cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} T_1 \cos \beta}{\frac{\sin \beta \sin \alpha}{\sin \gamma \sin \beta} T_1 \cos \gamma - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} T_1 \cos \beta} = \frac{\cos \alpha + \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta}{\sin \alpha \operatorname{ctg} \gamma - \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta} . \quad (9)$$

Из чертежа находим необходимые значения

$$\sin \alpha = \frac{2a}{\sqrt{13}a}, \quad \cos \alpha = \frac{3a}{\sqrt{13}a}; \quad (10)$$

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{1a}{3a}, \quad \operatorname{ctg} \gamma = \frac{a}{a} = 1. \quad (11)$$

Тогда ответ принимает вид

$$\eta = \frac{m_1}{m_2} = \frac{\frac{3}{\sqrt{13}} + \frac{2}{\sqrt{13}} \cdot \frac{1}{3}}{\frac{2}{\sqrt{13}} \cdot 1 - \frac{2}{\sqrt{13}} \cdot \frac{1}{3}} = \frac{11}{4} = 2,75. \quad (12)$$

Заметим, что даже интуитивно понятно (судя по провисанию грузов на веревках), что груз m_1 должен тяжелым, а груз m_2 – легким. Это и подтверждается точным расчетом (12) «по клеточкам» на представленном в условии рисунке.